

90/537511

PCT/JP03/15555

04.12.03

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

JP03/15555

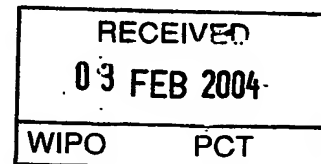
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2002年12月 5日

出願番号
Application Number: 特願2002-354234
[ST. 10/C]: [JP2002-354234]

出願人
Applicant(s): 浜松ホトニクス株式会社

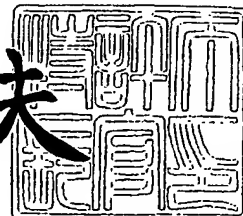


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 1月15日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 2002-0574

【提出日】 平成14年12月 5日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B23K 26/00320

B23K 26/04

H01L 21/301

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

【氏名】 福世 文嗣

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

【氏名】 福満 憲志

【特許出願人】

【識別番号】 000236436

【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 レーザ加工装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工装置であって、

レーザ光源から出射されたレーザ光のビームサイズを拡大するビームエキスパンダと、

前記ビームエキスパンダを介して入射したレーザ光を前記加工対象物の内部に集光する集光レンズと、

前記集光レンズを保持すると共に、前記集光レンズにレーザ光を入射させる第 1 の光通過孔を有するレンズホルダとを備え、

前記ビームエキスパンダと前記第 1 の光通過孔とを結ぶレーザ光の光路上には、レーザ光を絞って通過させる第 2 の光通過孔を有する絞り部材が設けられ、その絞り部材は前記レンズホルダから離間していることを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項 2】 前記第 2 の光通過孔の径は前記第 1 の光通過孔の径以下であることを特徴とする請求項 1 記載のレーザ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ウェハ状の加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するためのレーザ加工装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来技術】

従来から、レーザ光を加工対象物に照射することで溶断等の加工を行うレーザ加工装置がある。この種のレーザ加工装置は、レーザ光を加工対象物に向けて集光するための集光レンズが設けられたレーザヘッドを有し、このレーザヘッドのレーザ光入射側には、集光レンズに入射するレーザ光の径を一定にするための入射

瞳として光通過孔が設けられるのが一般的である（例えば、特許文献 1, 2 参照）。

【0 0 0 3】

【特許文献 1】

特開平 5 - 2 1 2 5 7 1 号公報

【特許文献 2】

実開平 3 - 1 8 9 7 9 号公報

【0 0 0 4】

【発明が解決しようとする課題】

上述したようなレーザ加工装置においては、入射瞳径より大きいビームサイズのレーザ光がレーザヘッドの光通過孔に向けて照射されるので、光通過孔の周囲部分でカットされたレーザ光によってレーザヘッドが加熱され、これにより集光レンズも加熱されることになる。そのため、レーザヘッドや集光レンズが膨張するなどして、加工対象物に対するレーザ光の集光点の位置がレーザ加工中に変動してしまうおそれがある。

【0 0 0 5】

そして、このような集光点の位置変動は、ウェハ状の加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するようなレーザ加工では、特にシビアな問題となる。その理由としては、例えば、厚さ $100\ \mu\text{m}$ 以下のシリコンウェハを加工対象物とする際には、レーザ光の集光点の位置制御が μm オーダーで要求される場合があるからである。

【0 0 0 6】

そこで、本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、レーザ加工中におけるレーザ光の集光点の位置変動を小さく抑えることのできるレーザ加工装置を提供することを目的とする。

【0 0 0 7】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明に係るレーザ加工装置は、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、加工対象物の内部に多光子

吸収による改質領域を形成するレーザ加工装置であって、レーザ光源から出射されたレーザ光のビームサイズを拡大するビームエキスパンダと、ビームエキスパンダを介して入射したレーザ光を加工対象物の内部に集光する集光レンズと、集光レンズを保持すると共に、集光レンズにレーザ光を入射させる第 1 の光通過孔を有するレンズホルダとを備え、ビームエキスパンダと第 1 の光通過孔とを結ぶレーザ光の光路上には、レーザ光を絞って通過させる第 2 の光通過孔を有する絞り部材が設けられ、その絞り部材はレンズホルダから離間していることを特徴とする。

【0008】

このレーザ加工装置においては、ビームエキスパンダによりビームサイズを拡大されたレーザ光が絞り部材の第 2 の光通過孔に向けて照射されるため、第 2 の光通過孔より大きいレーザ光の外周部分がカットされ、これにより、レーザ光はビームサイズを絞られて第 2 の光通過孔を通過することになる。この第 2 の光通過孔を通過したレーザ光は、集光レンズを保持するレンズホルダの第 1 の光通過孔に向けて照射され、この第 1 の光通過孔を通過したレーザ光が集光レンズにより集光される。そして、その集光点をウェハ状（すなわち、薄く平たい形状）の加工対象物の内部に合わせることで、加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成する。このようにビームエキスパンダと第 1 の光通過孔とを結ぶレーザ光の光路上に絞り部材を設けることで、ビームエキスパンダによりビームサイズを拡大されたレーザ光をレンズホルダの第 1 の光通過孔に向けて直接照射させる場合に比べ、第 1 の光通過孔の周囲部分によるレーザ光のカット量を減少させることができ、カットされたレーザ光によるレンズホルダの加熱を抑えることが可能になる。しかも、絞り部材はレンズホルダから離間しているため、第 2 の光通過孔の周囲部分でカットされたレーザ光によって絞り部材が加熱されても、絞り部材からレンズホルダへの熱伝達が防止される。したがって、レーザ加工中におけるレンズホルダの加熱を主原因としたレーザ光の集光点の位置変動を小さく抑えることができ、ウェハ状の加工対象物の内部における所定の位置に精度良く改質領域を形成することが可能になる。

【0009】

また、第 2 の光通過孔の径は第 1 の光通過孔の径以下であることが好ましい。第 2 の光通過孔の径と第 1 の光通過孔の径とが同径の場合、絞り部材の第 2 の光通過孔を通過したレーザ光の径は第 1 の光通過孔の径と同等になる。また、ビームエキスパンダを出射した光が平行光とならずビームが若干拡がる場合には、レーザ光の拡がり分を考慮して第 2 の光通過孔の径を第 1 の光通過孔の径より小さくすることで、第 1 の光通過孔の周囲部分に入射するレーザ光をほとんどなくすることができる。したがって、集光レンズの集光特性を最大限に発揮させつつ、第 1 の光通過孔の周囲部分によるレーザ光のカット量をほとんどなくし、レンズホルダの加熱をより一層抑えることが可能になる。

【0 0 1 0】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係るレーザ加工装置の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0 0 1 1】

本実施形態に係るレーザ加工装置は、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するものである。そこで、本実施形態に係るレーザ加工装置の説明に先立って、多光子吸収による改質領域の形成について説明する。

【0 0 1 2】

材料の吸収のバンドギャップ E_G よりも光子のエネルギー $h\nu$ が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は $h\nu > E_G$ である。しかし、光学的に透明でも、レーザ光の強度を非常に大きくすると $n h\nu > E_G$ の条件 ($n = 2, 3, 4, \dots$) で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点のピークパワー密度 (W/cm^2) で決まり、例えばピークパワー密度が $1 \times 10^8 (W/cm^2)$ 以上の条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、(集光点におけるレーザ光の 1 パルス当たりのエネルギー) \div (レーザ光のビームスポット断面積 \times パルス幅) により求められる。また、連続波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点の電界強度 (W/cm^2) で決まる。

【0013】

このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザ加工の原理について、図1～図6を参照して説明する。図1はレーザ加工中の加工対象物1の平面図であり、図2は図1に示す加工対象物1のII-II線に沿った断面図であり、図3はレーザ加工後の加工対象物1の平面図であり、図4は図3に示す加工対象物1のIV-IV線に沿った断面図であり、図5は図3に示す加工対象物1のV-V線に沿った断面図であり、図6は切断された加工対象物1の平面図である。

【0014】

図1及び図2に示すように、加工対象物1の表面3には、加工対象物1を切断すべき所望の切断予定ライン5がある。切断予定ライン5は直線状に延びた仮想線である（加工対象物1に実際に線を引いて切断予定ライン5としてもよい）。本実施形態に係るレーザ加工は、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して改質領域7を形成する。なお、集光点とはレーザ光Lが集光した箇所のことである。

【0015】

レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って（すなわち矢印A方向に沿って）相対的に移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させる。これにより、図3～図5に示すように改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部にのみ形成され、この改質領域7でもって切断予定部8が形成される。本実施形態に係るレーザ加工方法は、加工対象物1がレーザ光Lを吸収することにより加工対象物1を発熱させて改質領域7を形成するのではない。加工対象物1にレーザ光Lを透過させ加工対象物1の内部に多光子吸収を発生させて改質領域7を形成している。よって、加工対象物1の表面3ではレーザ光Lがほとんど吸収されないので、加工対象物1の表面3が溶融することはない。

【0016】

加工対象物1の切断において、切断する箇所に起点があると加工対象物1はその起点から割れるので、図6に示すように比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1の表面3に不必要な割れを発生させることなく加工対象物1の切断が可能となる。

【0 0 1 7】

なお、切断予定部を起点とした加工対象物の切断には、次の2通りが考えられる。1つは、切断予定部形成後、加工対象物に人為的な力が印加されることにより、切断予定部を起点として加工対象物が割れ、加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚さが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されるとは、例えば、加工対象物の切断予定部に沿って加工対象物に曲げ応力やせん断応力を加えたり、加工対象物に温度差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の1つは、切断予定部を形成することにより、切断予定部を起点として加工対象物の断面方向（厚さ方向）に向かって自然に割れ、結果的に加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚さが小さい場合には、1列の改質領域により切断予定部が形成されることで可能となり、加工対象物の厚さが大きい場合には、厚さ方向に複数列形成された改質領域により切断予定部が形成されることで可能となる。なお、この自然に割れる場合も、切断する箇所において、切断予定部が形成されていない部位に対応する部分の表面上にまで割れが先走ることがなく、切断予定部を形成した部位に対応する部分のみを切断することができるので、切断を制御よくすることができる。近年、シリコンウェハ等の加工対象物の厚さは薄くなる傾向にあるので、このような制御性のよい切断方法は大変有効である。

【0 0 1 8】

さて、本実施形態において多光子吸収により形成される改質領域としては、次の(1)～(3)がある。

【0 0 1 9】

(1) 改質領域が1つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合

加工対象物（例えばガラスや LiTaO_3 からなる圧電材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が $1 \times 10^8 \text{ (W/cm}^2\text{)}$ 以上で且つパルス幅が $1 \mu\text{s}$ 以下の条件でレーザ光を照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物の表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷

により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²) である。パルス幅は例えば 1 ns ~ 200 ns が好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第 45 回レーザー熱加工研究会論文集 (1998 年、12 月) の第 23 頁 ~ 第 28 頁の「固体レーザー高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。

【0020】

本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は下記の通りである。

【0021】

(A) 加工対象物：パイレックス (登録商標) ガラス (厚さ 700 μ m)

(B) レーザ

光源：半導体レーザー励起 Nd : YAG レーザ

波長：1064 nm

レーザー光スポット断面積：3.14 $\times 10^{-8}$ cm²

発振形態：Q スイッチパルス

繰り返し周波数：100 kHz

パルス幅：30 ns

出力：出力 < 1 mJ / パルス

レーザー光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

レーザー光波長に対する透過率：60 パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100 mm / 秒

【0022】

なお、レーザー光品質が TEM₀₀ とは、集光性が高くレーザー光の波長程度まで集光可能を意味する。

【0023】

図 7 は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、

レーザ光がパルスレーザ光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザ光により加工対象物の内部に形成されたクラック部分（クラックスポット）の大きさを示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が100倍、開口数（NA）が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が50倍、開口数（NA）が0.55の場合である。ピークパワー密度が 10^{11} （W/cm²）程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなることが分かる。

【0024】

次に、本実施形態に係るレーザ加工において、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて図8～図11を用いて説明する。図8に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域9を形成する。クラック領域9は1つ又は複数のクラックを含む領域である。このクラック領域9でもって切断予定部が形成される。図9に示すようにクラック領域9を起点として（すなわち、切断予定部を起点として）クラックがさらに成長し、図10に示すようにクラックが加工対象物1の表面3と裏面17に到達し、図11に示すように加工対象物1が割れることにより加工対象物1が切断される。加工対象物の表面と裏面に到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。

【0025】

（2）改質領域が熔融処理領域の場合

加工対象物（例えばシリコンのような半導体材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 （W/cm²）以上で且つパルス幅が1 μ s以下の条件でレーザ光を照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に熔融処理領域が形成される。熔融処理領域とは一旦熔融後再固化した領域や、まさに熔融状態

の領域や、熔融状態から再固化する状態の領域であり、相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、熔融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、熔融処理領域は例えば非晶質シリコン構造である。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²) である。パルス幅は例えば 1 ns ~ 200 ns が好ましい。

【0026】

本発明者は、シリコンウェハの内部で熔融処理領域が形成されることを実験により確認した。実験条件は次の通りである。

【0027】

(A) 加工対象物：シリコンウェハ（厚さ 350 μ m、外径 4 インチ）

(B) レーザ

光源：半導体レーザー励起 Nd : YAG レーザ

波長：1064 nm

レーザー光スポット断面積：3.14 $\times 10^{-8}$ cm²

発振形態：Q スイッチパルス

繰り返し周波数：100 kHz

パルス幅：30 ns

出力：20 μ J / パルス

レーザー光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

倍率：50 倍

N. A. : 0.55

レーザー光波長に対する透過率：60 パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100 mm/秒

【0 0 2 8】

図 1 2 は、上記条件でのレーザ加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ 1 1 の内部に溶融処理領域 1 3 が形成されている。なお、上記条件により形成された溶融処理領域 1 3 の厚さ方向の大きさは 1 0 0 μ m 程度である。

【0 0 2 9】

溶融処理領域 1 3 が多光子吸収により形成されたことを説明する。図 1 3 は、レーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚さ t が 5 0 μ m、1 0 0 μ m、2 0 0 μ m、5 0 0 μ m、1 0 0 0 μ m の各々について上記関係を示した。

【0 0 3 0】

例えば、Nd : YAG レーザの波長である 1 0 6 4 nm において、シリコン基板の厚さが 5 0 0 μ m 以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザ光が 8 0 % 以上透過することが分かる。図 1 2 に示すシリコンウェハ 1 1 の厚さは 3 5 0 μ m であるので、多光子吸収による溶融処理領域 1 3 はシリコンウェハの中心付近、つまり表面から 1 7 5 μ m の部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ 2 0 0 μ m のシリコンウェハを参考にすると、9 0 % 以上なので、レーザ光がシリコンウェハ 1 1 の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過する。このことは、シリコンウェハ 1 1 の内部でレーザ光が吸収されて、溶融処理領域 1 3 がシリコンウェハ 1 1 の内部に形成（つまりレーザ光による通常の加熱で溶融処理領域が形成）されたものではなく、溶融処理領域 1 3 が多光子吸収により形成されたことを意味する。多光子吸収による溶融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全国大会講演概要第 6 6 集（2 0 0 0 年 4 月）の第 7 2 頁～第 7 3 頁の「ピコ秒パルスレーザによるシリコンの加工特性評価」に記載されている。

【0 0 3 1】

なお、シリコンウェハは、溶融処理領域でもって形成される切断予定部を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面とに到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェハの表面と裏

面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、シリコンウェハに力が印加されることにより成長する場合もある。なお、切断予定部からシリコンウェハの表面と裏面とに割れが自然に成長する場合には、切断予定部を形成する溶融処理領域が溶融している状態から割れが成長する場合と、切断予定部を形成する溶融処理領域が溶融している状態から再固化する際に割れが成長する場合とのいずれもある。ただし、どちらの場合も溶融処理領域はシリコンウェハの内部のみに形成され、切断後の切断面には、図12のように内部にのみ溶融処理領域が形成されている。加工対象物の内部に溶融処理領域でもって切断予定部を形成すると、切断時、切断予定部ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、切断制御が容易となる。

【0032】

(3) 改質領域が屈折率変化領域の場合

加工対象物（例えばガラス）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²) 以上で且つパルス幅が1 ns以下の条件でレーザー光を照射する。パルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²) である。パルス幅は例えば1 ns以下が好ましく、1 ps以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第42回レーザー熱加工研究会論文集（1997年、11月）の第105頁～第111頁の「フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

【0033】

次に、本実施形態に係るレーザー加工装置について、図14及び図15を参照して説明する。

【0034】

図14に示すように、レーザー加工装置20は、ウェハ状の加工対象物1の内部に集光点P1を合わせて加工用レーザー光L1を照射することで、加工対象物1の

内部に多光子吸収による改質領域 7 を形成し、この改質領域 7 でもって、加工対象物 1 の表面 3 に沿って延在する切断予定部 8 を形成する装置である。ここで、加工対象物 1 はシリコンウェハ等の半導体ウェハであり、改質領域 7 は熔融処理領域である。

【0035】

このレーザ加工装置 20 は、加工対象物 1 が載置されるステージ 21 を有しており、このステージ 21 は、上下方向を Z 軸方向として X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向の各方向に移動可能となっている。ステージ 21 の上方には、加工用レーザ光 L1 を発生するレーザ光源 22 等を収容した筐体 23 が配置されている。このレーザ光源 22 は、例えば Nd:YAG レーザであり、真下に位置するステージ 21 上の加工対象物 1 に向けてパルス幅 $1\ \mu\text{s}$ 以下のパルスレーザ光である加工用レーザ光 L1 を出射する。

【0036】

筐体 23 の下端面には電動レボルバ 24 が取り付けられており、この電動レボルバ 24 には、加工対象物 1 を観察するための観察用対物レンズ 26 と、加工用レーザ光 L1 を集光するための加工用対物レンズ 27 とが装着されている。各対物レンズ 26, 27 の光軸は、電動レボルバ 24 の回転によって加工用レーザ光 L1 の光軸に一致させられる。なお、加工用対物レンズ 27 と電動レボルバ 24 との間には、ピエゾ素子を用いたアクチュエータ 28 が介在されており、このアクチュエータ 28 によって加工用対物レンズ 27 の位置が Z 軸方向（上下方向）に微調整される。

【0037】

図 15 に示すように、加工用対物レンズ 27 は円筒形状のレンズホルダ 29 を有し、このレンズホルダ 29 は、その内部において複数のレンズを組み合わせる開口数「0.80」の集光レンズ 31 を保持している。そして、レンズホルダ 29 の上端部には、集光レンズ 31 に対する加工用レーザ光 L1 の入射瞳として第 1 の光通過孔 32 が形成され、レンズホルダ 29 の下端部には加工用レーザ光 L1 の出射開口 33 が形成されている。このように構成された加工用対物レンズ 27 によって加工用レーザ光 L1 が集光され、集光レンズ 31 による集光点 P

1での加工用レーザ光L1のピークパワー密度は 1×10^8 (W/cm²) 以上となる。

【0038】

また、筐体23内における加工用レーザ光L1の光軸上には、図14に示すように、レーザ光源22で発生したレーザ光L1のビームサイズを拡大するビームエキスパンダ34と、レーザ光L1の出力や偏光を調整するレーザ光調整光学系36と、レーザ光L1の通過又は遮断を行う電磁シャッタ37と、レーザ光L1のビームサイズを絞る絞り部材38とが上から下にこの順序で配置されている。

【0039】

図15に示すように、絞り部材38は、加工用対物レンズ27の第1の光通過孔32の上方に位置して筐体23に取り付けられており、加工用レーザ光L1の光軸上においてこのレーザ光L1を絞って通過させるアパーチャとしての第2の光通過孔39を有している。この第2の光通過孔39は、加工用対物レンズ27の第1の光通過孔32と同径に形成されており、第2の光通過孔39の中心軸線は、絞り部材38に設けられた調節ネジ35によって第1の光通過孔32の中心軸線に正確に一致させることができる。したがって、ビームエキスパンダ34によりビームサイズを拡大された加工用レーザ光L1は、絞り部材38によって第2の光通過孔39より大きいレーザ光L1の外周部分がカットされ、これにより、第2の光通過孔39を通過した加工用レーザ光L1の径は、加工用対物レンズ27の第1の光通過孔32の径と同等になる。なお、ビームエキスパンダ34を出射した光が平行光とならずビームが若干拡がる場合には、レーザ光の拡がり分を考慮して、第1の光通過孔32の周囲部分に入射するレーザ光をほとんどなくすように第2の光通過孔39の径を第1の光通過孔32の径より小さくする。

【0040】

さらに、レーザ加工装置20は、図14に示すように、加工用対物レンズ27と加工対象物1の表面3との距離をレーザ加工中常に一定に保つべく、測距用レーザ光を発生するレーザダイオード等の測距用光源41と、フォトダイオードを4等分してなる4分割位置検出素子42とを筐体23内に有している。

【0041】

すなわち、測距用光源 4 1 から出射された測距用レーザ光は、ピンホール 4 3、ビームエキスパンダ 4 4 を順次通過した後、ミラー 4 6、ハーフミラー 4 7 により順次反射されて、電磁シャッタ 3 7 と絞り部材 3 8 との間に配置されたダイクロイックミラー 4 8 に導かれる。このダイクロイックミラー 4 8 により反射された測距用レーザ光は、加工用レーザ光 L 1 の光軸上を下方に向かって進行し、絞り部材 3 8 の第 2 の光通過孔 3 9 を通過した後、加工用対物レンズ 2 7 の集光レンズ 3 1 により集光されて加工対象物 1 に照射される。なお、加工用レーザ光 L 1 はダイクロイックミラー 4 8 を透過する。

【0042】

そして、加工対象物 1 の表面 3 で反射された測距用レーザ光の反射光は、加工用対物レンズ 2 7 の集光レンズ 3 1 に再入射して加工用レーザ光 L 1 の光軸上を上方に向かって進行し、絞り部材 3 8 の第 2 の光通過孔 3 9 を通過した後、ダイクロイックミラー 4 8 により反射される。このダイクロイックミラー 4 8 により反射された測距用レーザ光の反射光は、ハーフミラー 4 7 を通過した後、シリンドリカルレンズと平凸レンズとからなる整形光学系 4 9 により集光されて 4 分割位置検出素子 4 2 上に照射される。

【0043】

この 4 分割位置検出素子 4 2 上における測距用レーザ光の反射光の集光像パターンは、加工用対物レンズ 2 7 と加工対象物 1 の表面 3 との距離に応じて変化する。このレーザ加工装置 2 0 では、加工用対物レンズ 2 7 と加工対象物 1 の表面 3 との距離がレーザ加工中常に一定となるように、4 分割位置検出素子 4 2 上の集光像パターンに基づいてアクチュエータ 2 8 をフィードバック制御し、加工用対物レンズ 2 7 の位置を上下方向に微調整する。

【0044】

さらに、レーザ加工装置 2 0 は、ステージ 2 1 上に載置された加工対象物 1 を観察すべく、観察用可視光を発生する観察用光源 5 1 を筐体 2 3 外に有し、CCD カメラ 5 2 を筐体 2 3 内に有している。

【0045】

すなわち、観察用光源 5 1 で発せられた観察用可視光は、光ファイバからなる

ライトガイド 53 により筐体 23 内に導かれ、視野絞り 54、開口絞り 56、ダイクロイックミラー 57 等を順次通過した後、絞り部材 38 と加工用対物レンズ 27 の第 1 の光通過孔 32 と間に配置されたダイクロイックミラー 58 により反射される。反射された観察用可視光は、加工用レーザ光 L1 の光軸上を下方に向かって進行し、電動レボルバ 24 の回転によって加工用レーザ光 L1 の光軸上に配置された観察用対物レンズ 26 を通過して加工対象物 1 に照射される。なお、加工用レーザ光 L1、測距用レーザ光及びその反射光はダイクロイックミラー 58 を透過する。

【0046】

そして、加工対象物 1 の表面 3 で反射された観察用可視光の反射光は、観察用対物レンズ 26 内に再入射して加工用レーザ光 L1 の光軸上を上方に向かって進行し、ダイクロイックミラー 58 により反射される。このダイクロイックミラー 58 により反射された反射光は、ダイクロイックミラー 57 により更に反射されて、フィルタ 59、結像レンズ 61、リレーレンズ 62 を順次通過し、CCD カメラ 52 に入射することになる。

【0047】

この CCD カメラ 52 により撮像された撮像データは全体制御部 63 に取り込まれ、この全体制御部 63 によって TV モニタ 64 に加工対象物 1 の表面 3 等の画像が映し出される。なお、全体制御部 63 は、各種処理を実行すると共に、ステージ 21 の移動、電磁レボルバ 24 の回転、電磁シャッタ 37 の開閉、CCD カメラ 52 による撮像等の他、レーザ加工装置 20 の全体の動作を制御するものである。

【0048】

次に、上述したレーザ加工装置 20 によるレーザ加工手順について説明する。まず、ステージ 21 上に加工対象物 1 を載置する。続いて、加工対象物 1 の改質領域 7 の形成開始位置と加工用レーザ光 L1 の集光点 P1 とが一致するようにステージ 21 を移動させる。なお、このときの加工用対物レンズ 27 と加工対象物 1 の表面 3 との距離は、加工対象物 1 の厚さや屈折率に基づいて決定することができる。

【 0 0 4 9 】

続いて、レーザ光源 2 2 から加工用レーザ光 L 1 を加工対象物 1 に向けて出射させる。このとき、加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 は、加工対象物 1 の表面 3 から所定距離内側に位置しているので、改質領域 7 は加工対象物 1 の内部に形成される。そして、切断すべき所望の切断予定ラインに沿うようにステージ 2 1 を X 軸方向や Y 軸方向に移動させて、加工対象物 1 の表面 3 に沿って延在する切断予定部 8 を改質領域 7 により形成する。

【 0 0 5 0 】

この切断予定部 8 の形成中は、4 分割位置検出素子 4 2 上における測距用レーザ光の反射光の集光像パターンに基づいて、加工用対物レンズ 2 7 と加工対象物 1 の表面 3 との距離が一定となるように、アクチュエータ 2 8 によって加工用対物レンズ 2 7 の位置が上下方向に微調整される。そのため、加工対象物 1 の表面 3 に面振れがあったり、ステージ 2 1 が振動したりしても、加工用対物レンズ 2 7 と加工対象物 1 の表面 3 との距離は一定に保たれることになる。したがって、加工対象物 1 の表面 3 から所定距離内側に精度良く切断予定部 8 を形成することができる。

【 0 0 5 1 】

以上説明したようにレーザ加工装置 2 0 においては、ビームエキスパンダ 3 4 とレンズホルダ 2 9 の第 1 の光通過孔 3 2 とを結ぶ加工用レーザ光 L 1 の光路上に、第 1 の光通過孔 3 2 と同径の第 2 の光通過孔 3 9 を有する絞り部材 3 8 が配置されている。そのため、ビームエキスパンダ 3 4 によりビームサイズを拡大された加工用レーザ光 L 1 は、絞り部材 3 8 によって第 2 の光通過孔 3 9 より大きいレーザ光 L 1 の外周部分がカットされ、これにより、第 2 の光通過孔 3 9 を通過した加工用レーザ光 L 1 の径は、レンズホルダ 2 9 の第 1 の光通過孔 3 2 の径と略同等になる。したがって、第 1 の光通過孔 3 2 の周囲部分によるレーザ光 L 1 のカット量をほとんどなくすることができ、加工用レーザ光 L 1 の照射によるレンズホルダ 2 9 の加熱を防止することが可能になる。しかも、絞り部材 3 8 はレンズホルダ 2 9 から離間しているため、第 2 の光通過孔 3 9 の周囲部分でカットされたレーザ光 L 1 によって絞り部材 3 8 が加熱されても、絞り部材 3 8 からレン

ズホルダ29への熱伝達が防止される。よって、レーザ加工中におけるレンズホルダ29の加熱を主原因とした加工用レーザ光L1の集光点P1の位置変動を小さく抑えることができ、加工対象物1の内部における所定の位置に精度良く改質領域7を形成することが可能になる。

【0052】

図16は、レーザ加工開始からの経過時間とレンズホルダの上昇温度との関係を示すグラフである。このグラフに示されるように、レーザ加工装置20においては、絞り部材39を設けることによって、絞り部材39を設けなかった場合に比べ、レーザ加工開始から30分の経過後におけるレンズホルダ29の上昇温度を1℃も抑えることができる。

【0053】

また、レーザ加工装置20においては、加工対象物1の内部に多光子吸収を起こさせるために、集光点P1での加工用レーザ光L1のピークパワー密度を 1×10^8 (W/cm²) 以上というように高くする必要がある、また、加工対象物1がウェハ状であるがために多光子吸収により発生する改質領域7を微小なものにする必要がある。このような改質領域7を形成するためには、例えば「0.80」といった開口数の大きい集光レンズ31を用いる必要がある、そのため、集光レンズ31の入射瞳径、すなわち第1の光通過孔32の径を大きくする必要がある。このレーザ加工装置20においては、ビームエキスパンダ34を設けることで、レーザ光源22で発生した加工用レーザ光L1のビームサイズを、大型化された第1の光通過孔32の径に対応可能となるように十分に大きくすることができる。

【0054】

本発明に係るレーザ加工装置は上記実施形態に限定されない。例えば、絞り部材38の第2の光通過孔39は、レンズホルダ29の第1の光通過孔32の径と同径であるものに限らず、ビームエキスパンダ34によりビームサイズを拡大された加工用レーザ光L1を絞って通過させるものであれば、第1の光通過孔32の径より大きくてもよい。この場合にも、ビームエキスパンダ34により拡大された加工用レーザ光L1を第1の光通過孔32に向けて直接照射させる場合に比

べ、第1の光通過孔32の周囲部分によるレーザ光L1のカット量を減少させることができ、カットされたレーザ光L1によるレンズホルダ29の加熱を抑えることが可能になる。

【0055】

【発明の効果】

以上説明したように本発明に係るレーザ加工装置によれば、レーザ加工中におけるレンズホルダの加熱を主原因としたレーザ光の集光点の位置変動を小さく抑えることができ、ウェハ状の加工対象物の内部における所定の位置に精度良く改質領域を形成することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工中の加工対象物の平面図である。

【図2】

図1に示す加工対象物のII-II線に沿った断面図である。

【図3】

本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工後の加工対象物の平面図である。

【図4】

図3に示す加工対象物のIV-IV線に沿った断面図である。

【図5】

図3に示す加工対象物のV-V線に沿った断面図である。

【図6】

本実施形態に係るレーザ加工方法により切断された加工対象物の平面図である。

【図7】

本実施形態に係るレーザ加工方法における電界強度とクラックスポットの大きさとの関係を示すグラフである。

【図8】

本実施形態に係るレーザ加工方法の第1工程における加工対象物の断面図である。

【図9】

本実施形態に係るレーザ加工方法の第2工程における加工対象物の断面図である。

【図10】

本実施形態に係るレーザ加工方法の第3工程における加工対象物の断面図である。

【図11】

本実施形態に係るレーザ加工方法の第4工程における加工対象物の断面図である。

【図12】

本実施形態に係るレーザ加工方法により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。

【図13】

本実施形態に係るレーザ加工方法におけるレーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。

【図14】

本実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成図である。

【図15】

図14に示すレーザ加工装置の要部を示す拡大図である。

【図16】

図14に示すレーザ加工装置におけるレーザ加工開始からの経過時間とレンズホルダの上昇温度との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

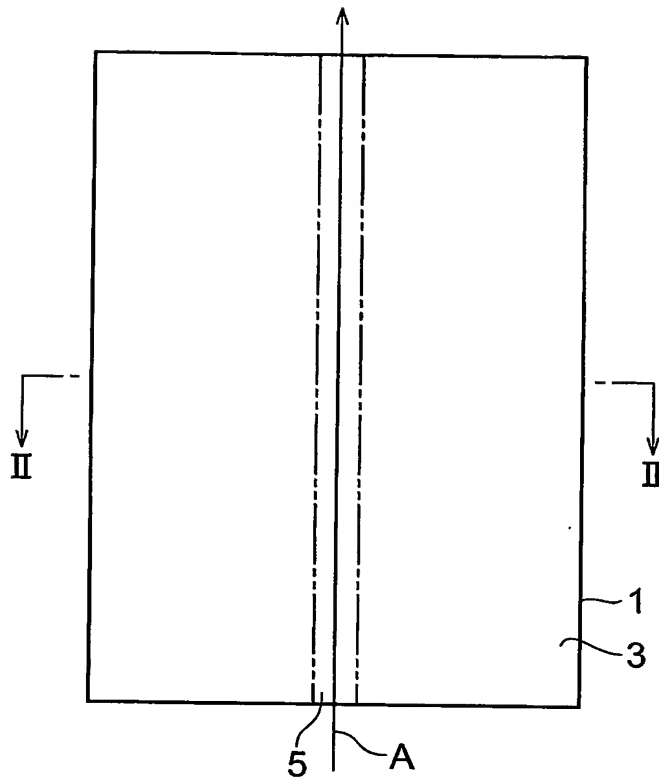
1…加工対象物、3…表面、5…切断予定ライン、7…改質領域、8…切断予定部、11…シリコンウェハ、13…熔融処理領域、20…レーザ加工装置、22…レーザ光源、29…レンズホルダ、31…集光レンズ、32…第1の光通過孔、38…絞り部材、39…第2の光通過孔、L、L1…レーザ光、P、P1…

集光点。

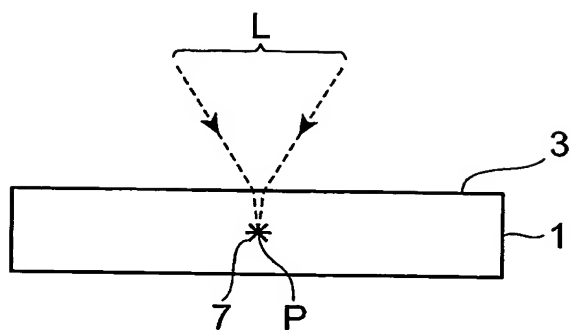
【書類名】

図面

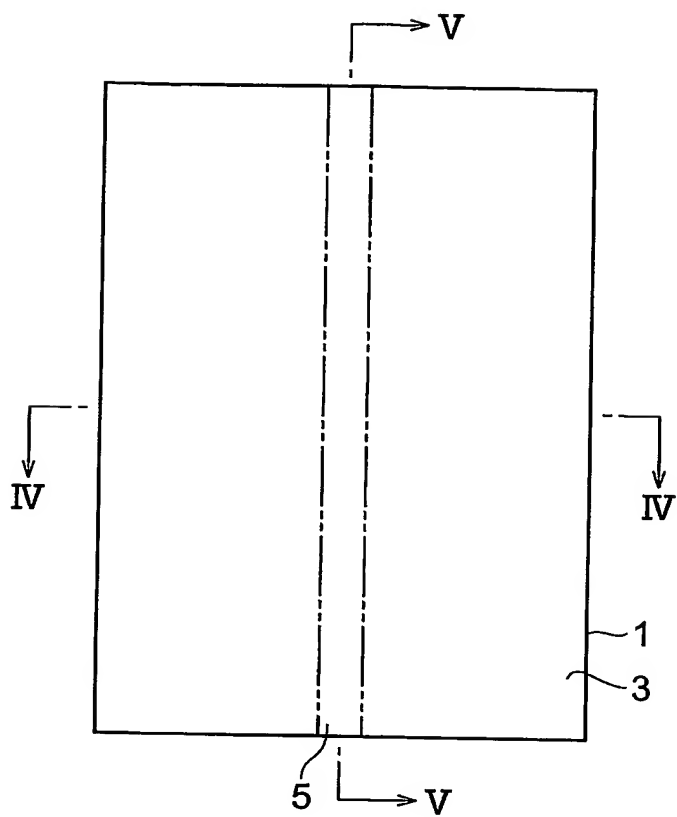
【図 1】



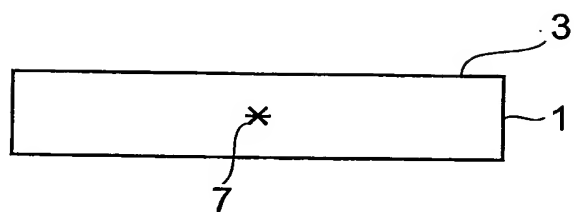
【図 2】



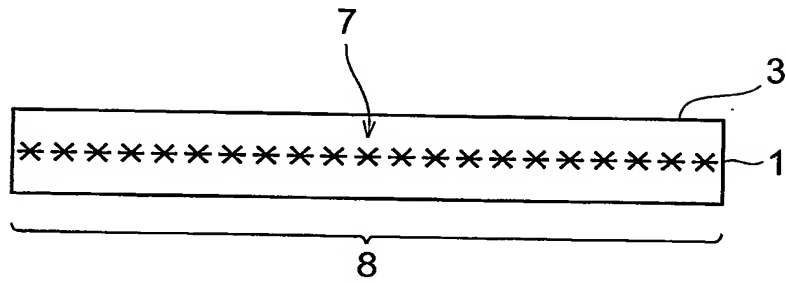
【図 3】



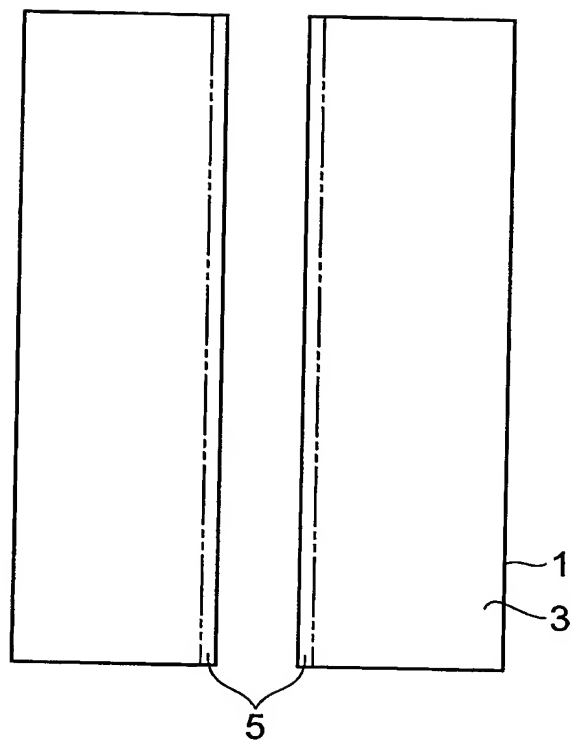
【図 4】



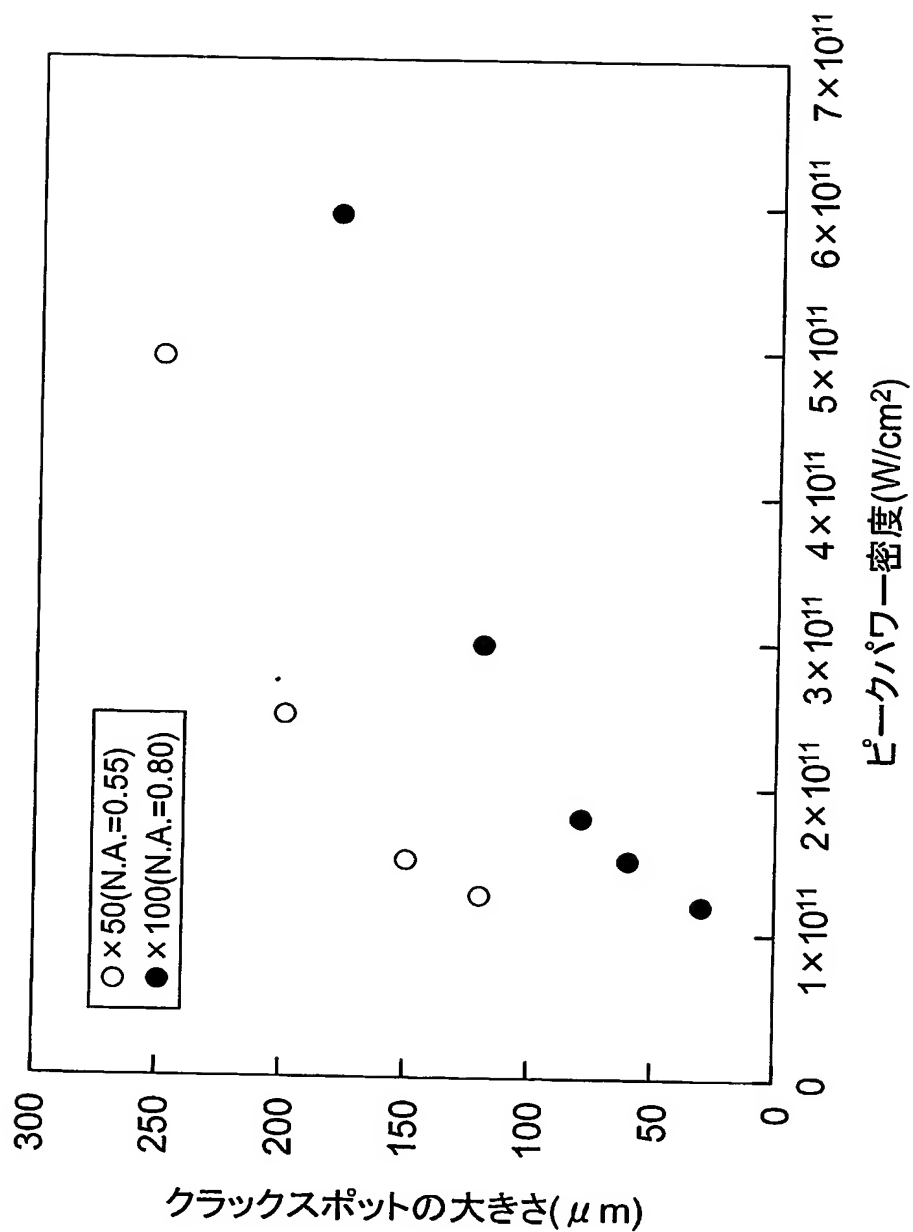
【図 5】



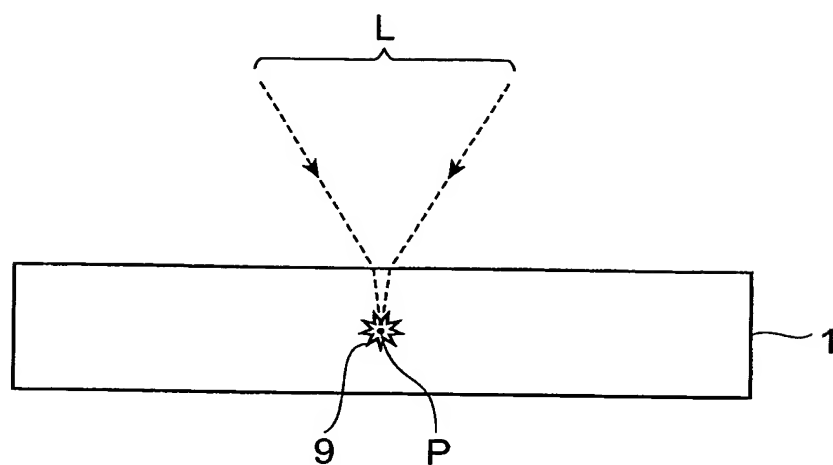
【図 6】



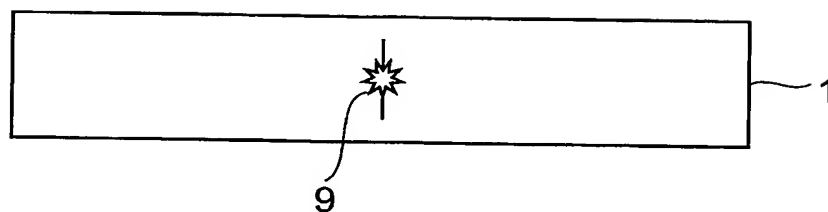
【図 7】



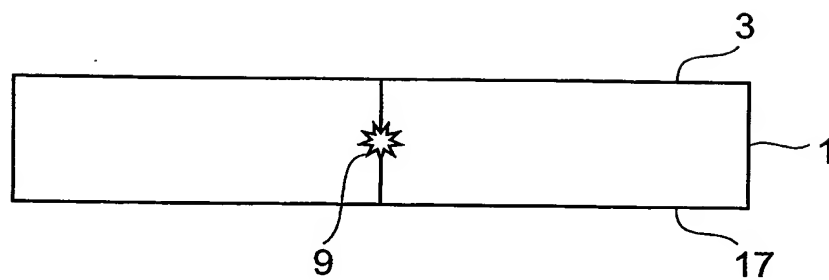
【図 8】



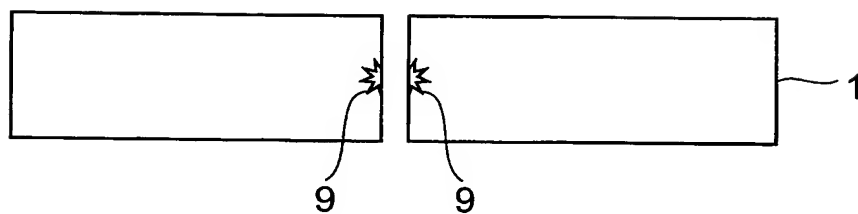
【図 9】



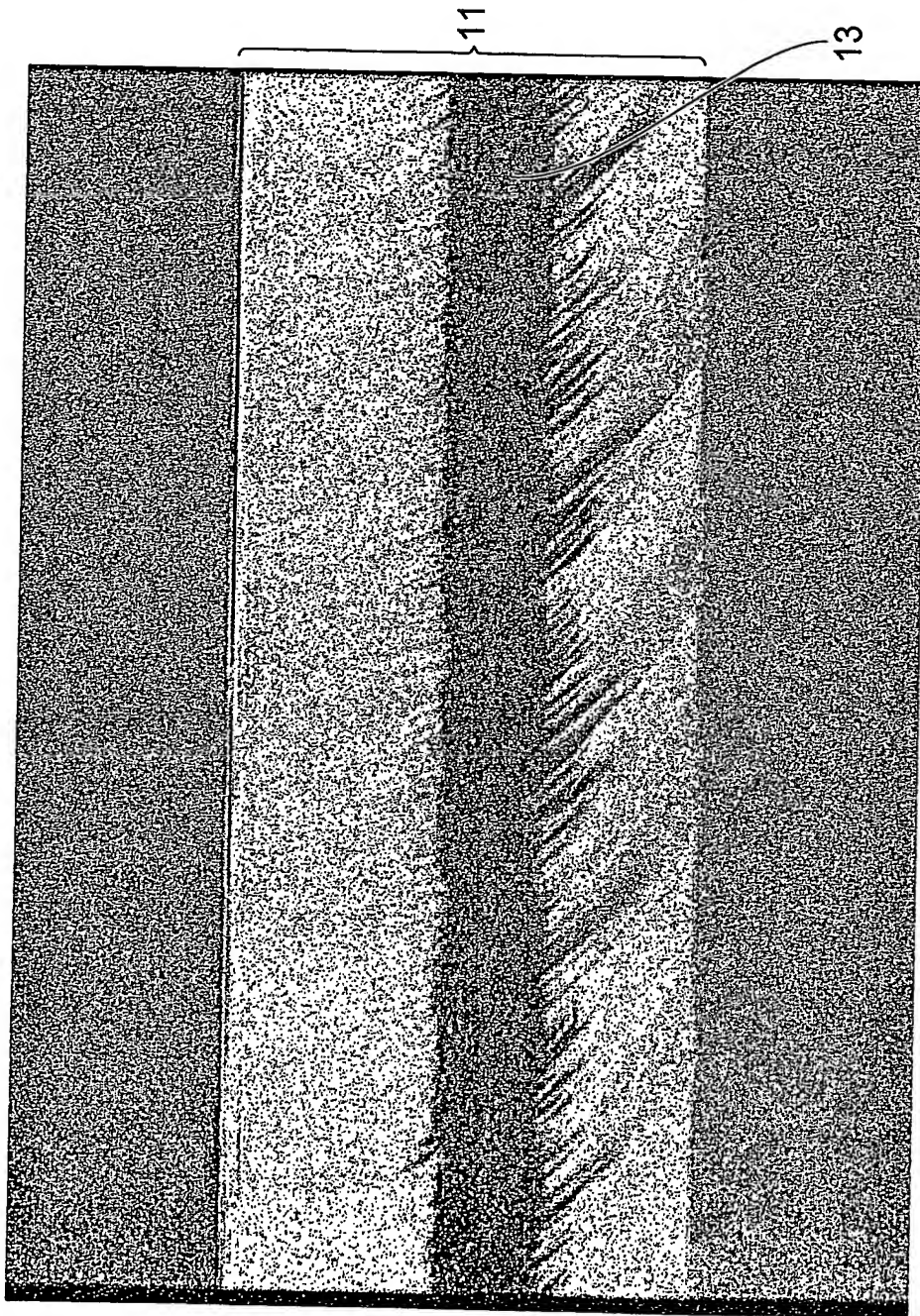
【図 1 0】



【図 11】

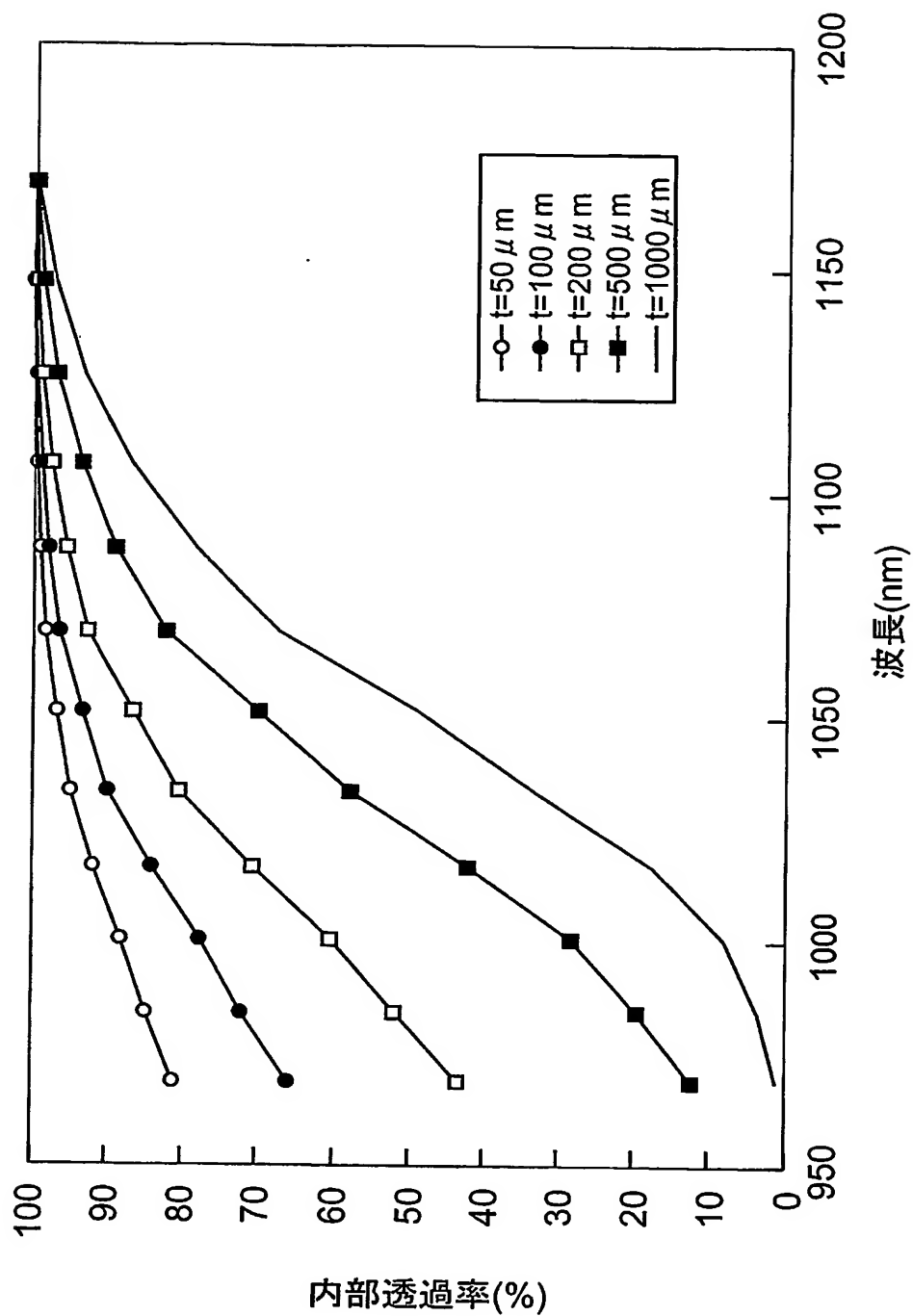


【図 12】

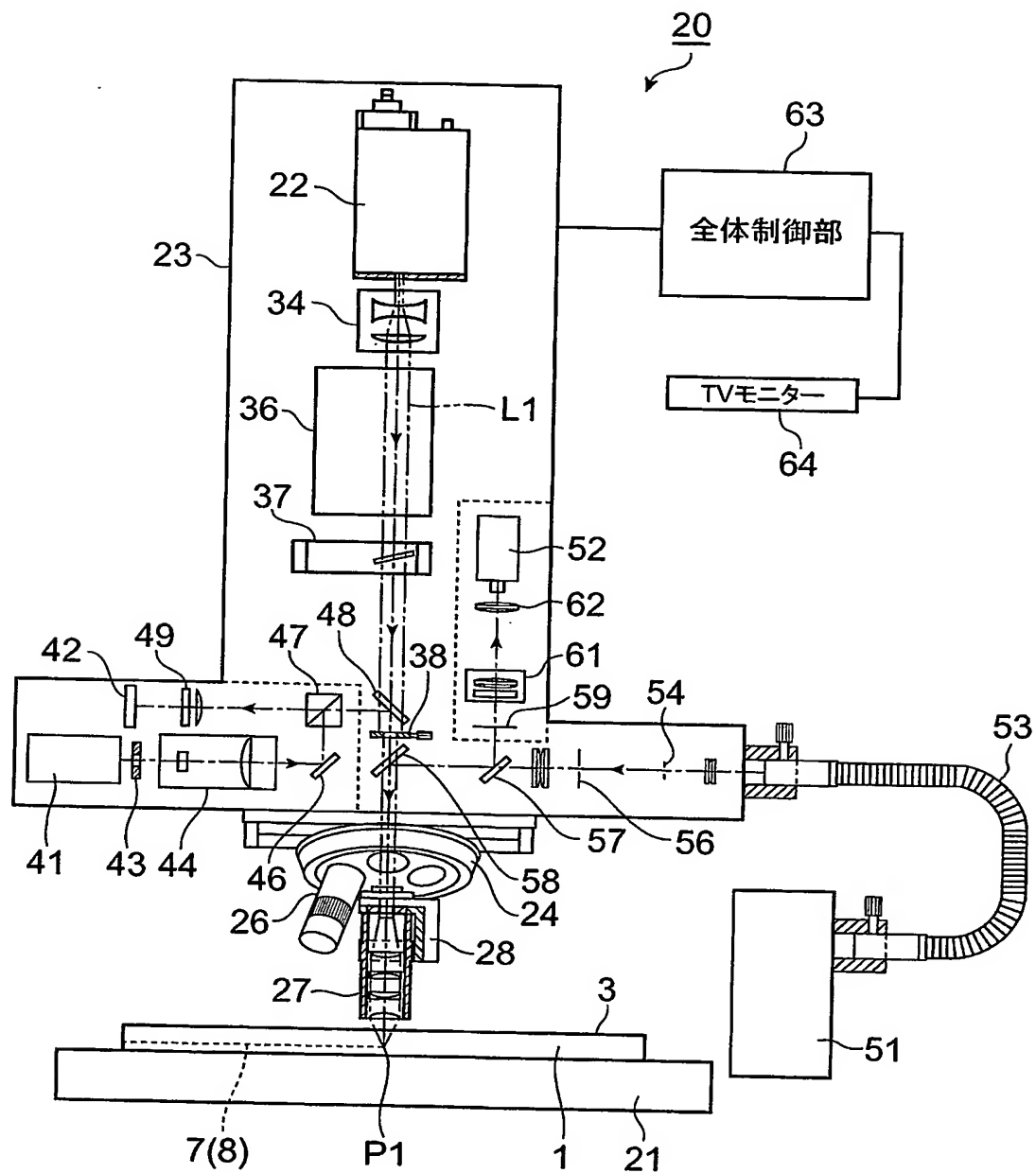


BEST AVAILABLE COPY

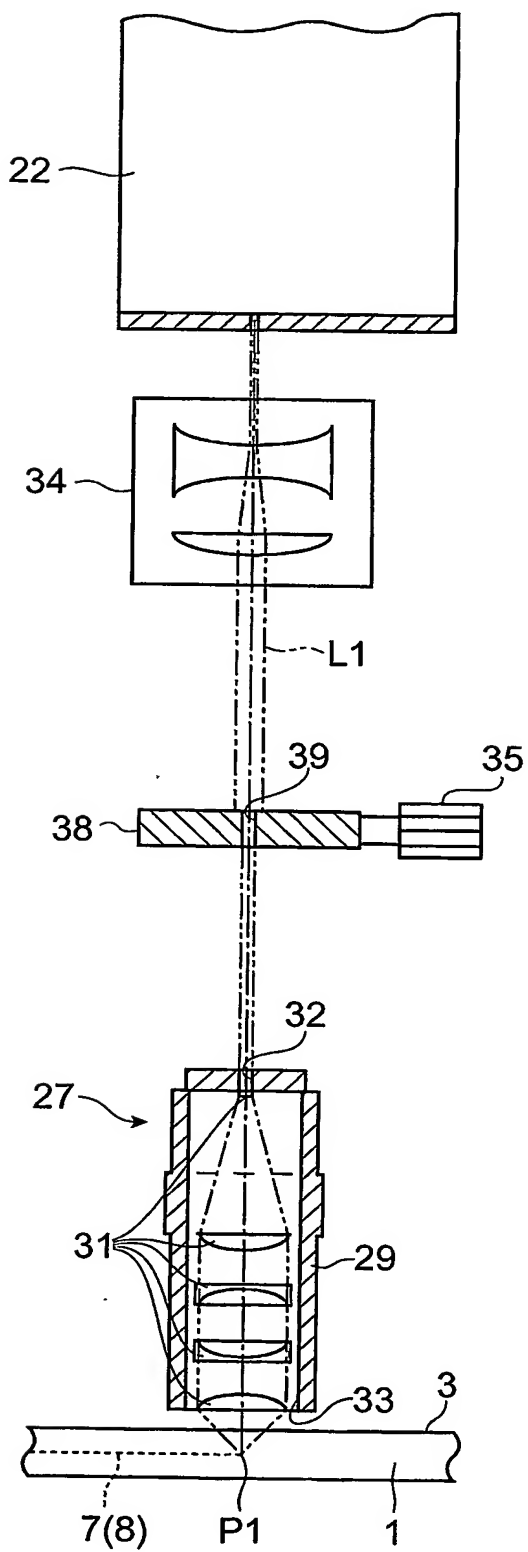
【図 13】



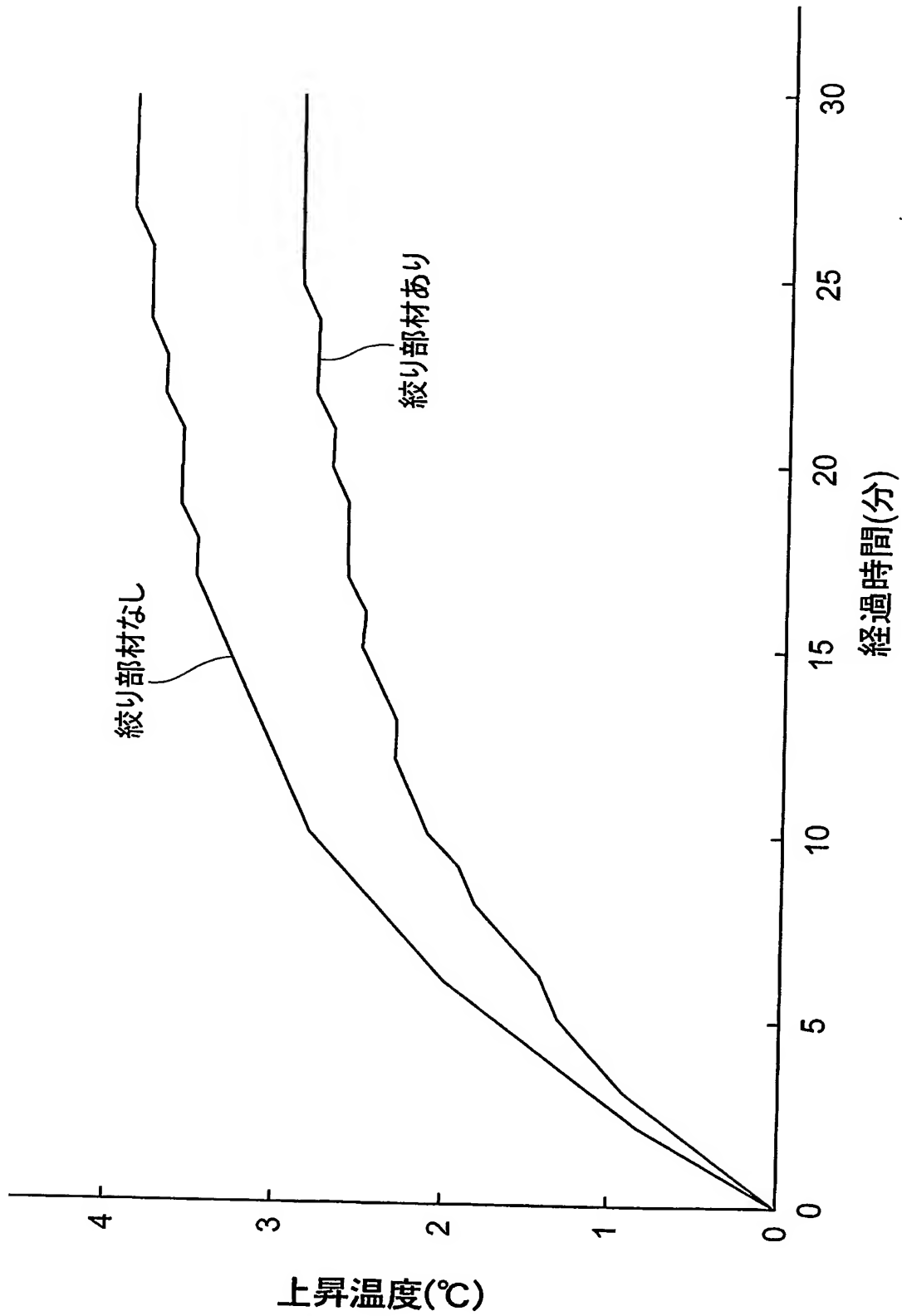
【図 14】



【図15】



【図 16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 レーザ加工中におけるレーザ光の集光点の位置変動を小さく抑え得るレーザ加工装置を提供する。

【解決手段】 レーザ加工装置 2 0 では、ビームエキスパンダ 3 4 とレンズホルダ 2 9 の第 1 の光通過孔 3 2 とを結ぶレーザ光 L 1 の光路上に、第 1 の光通過孔 3 2 と同径の第 2 の光通過孔 3 9 を有する絞り部材 3 8 が配置されている。よって、第 1 の光通過孔 3 2 の周囲部分によるレーザ光 L 1 のカット量をほとんどなくし、レーザ光 L 1 の照射によるレンズホルダ 2 9 の加熱を防止することができる。しかも、絞り部材 3 8 はレンズホルダ 2 9 から離間しているため、第 2 の光通過孔 3 9 の周囲部分でカットされたレーザ光 L 1 により絞り部材 3 8 が加熱されても、絞り部材 3 8 からレンズホルダ 2 9 への熱伝達が防止される。したがって、レーザ加工中におけるレーザ光 L 1 の集光点 P 1 の位置変動を小さく抑えることができる。

【選択図】 図 1 5

特願 2 0 0 2 - 3 5 4 2 3 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 2 3 6 4 3 6]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 1 0 日
[変更理由]	新規登録
住 所	静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1
氏 名	浜松ホトニクス株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.